

**Double-magnetron sputtering unit for large area reactive plasma-enhanced deposition of e.g. light absorbing layers on metal strips for solar absorbers or heat reflective layers on window glass**

Patent Number: DE19827587  
Publication date: 1999-12-23  
Inventor(s): SCHULZE DIETMAR (DE)  
Applicant(s): ARDENNE ANLAGENTECH GMBH (DE)  
Requested Patent: DE19827587  
Application Number: DE19981027587 19980620  
Priority Number(s): DE19981027587 19980620  
IPC Classification: H01J37/34; C23C14/35  
EC Classification: C23C14/35D, C23C16/26, C23C16/50, H01J37/34M2A  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

A double-magnetron sputtering unit has magnetrons with an inner magnetic pole (2) magnetic field strength lower than the outer magnetic pole (3) magnetic field strength. A medium frequency voltage double-magnetron sputtering unit has individual magnetrons in which the inner magnetic pole magnetic field strength, measured in the target plane, is lower than the outer magnetic pole magnetic field strength. Preferred Features: The inner magnetic pole (3) consists of a high permeability material such as St 37 and the outer magnetic pole (2) consists of a hard magnetic material such as SmCo or NdFeB.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

DOCKET NO: UHH-12712

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: Winfried Sabisch et al

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 198 27 587 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 J 37/34**  
C 23 C 14/35

⑦① Aktenzeichen: 198 27 587.0  
⑦② Anmeldetag: 20. 6. 98  
⑦③ Offenlegungstag: 23. 12. 99

**DE 198 27 587 A 1**

⑦① **Anmelder:**  
Von Ardenne Anlagentechnik GmbH, 01324  
Dresden, DE

⑦④ **Vertreter:**  
Patentanwälte Lippert, Stachow, Schmidt &  
Partner, 01309 Dresden

⑦② **Erfinder:**  
Schulze, Dietmar, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 01474  
Schönfeld-Weißig, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

DE	43 43 042 C1
DE	40 17 112 A1
DD	2 52 205 A1
GB	22 41 710 A
EP	05 02 242 A2
EP	5 89 699 A1

J. Vac. Sci. Technol. A10(5), Sept./Oct. 1992,  
S. 330-3304;  
Surface u. Coatings Technol. 71(1995) S.93-97;  
Surface u. Coatings Technol. 50(1992) S.169-178;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

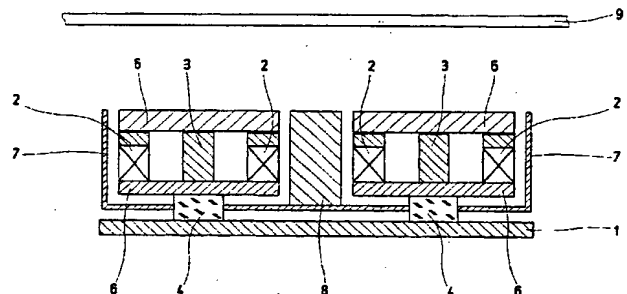
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Einrichtung zur plasmagestützten Schichtabscheidung**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine mit Mittelfrequenzspannung gespeiste Doppelmagnetron-Sputtereinrichtung, bestehend aus zwei im wesentlichen in einer Ebene parallel nebeneinander liegenden Einzelmagnetrons mit gleicher Magnetfeldrichtung, jeweils umfassend einen inneren Magnetpol 3, einen äußeren Magnetpol 2 mit einer Polarität, die derjenigen des inneren Magnetpols 3 entgegengesetzt ist und der so angeordnet und gestaltet ist, daß er den inneren Magnetpol 3 umschließt, ein Target 5, welches zumindest oberhalb des inneren Magnetpols 3 angeordnet ist und sich von dort aus in der Ebene und in Richtung des äußeren Magnetpols 2 erstreckt, beide Magnetpole 2, 3 fixiert auf einer Rückplatte 6 aus permeablen Material.

Durch die Erfindung soll eine hohe über lange Zeit stabile Plasmadichte in Substratnähe erzeugt werden.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß bei jedem der das Doppelmagnetron bildende Einzelmagnetrons die, jeweils in der Ebene des Targets gemessene magnetische Feldstärke des inneren Magnetpols 3 niedriger ist als die des äußeren Magnetpols 2, wobei der äußere Magnetpol 2 im wesentlichen aus hartmagnetischem Material, der innere Magnetpol 3 im wesentlichen aus Material mit einer hohen Permeabilität und in gleicher Weise wie die Rückplatte 6 zusammengesetzt ist.



**DE 198 27 587 A 1**

Die Erfindung betrifft eine Magnetron-Sputtereinrichtung zur großflächigen, reaktiven plasmagestützten Abscheidung hauptsächlich elektrisch isolierender Schichten auf Substraten entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die zu beschichtenden Substrate können dabei aus den unterschiedlichsten Grundmaterialien bestehen und die unterschiedlichste geometrische Form haben. In der Praxis werden aber hauptsächlich metallische Bänder oder ebene Glasscheiben als Substrate in Frage kommen.

Sowohl für die Abscheidung von dielektrischen Schichtsystemen für z. B. die Herstellung von wärmereflektierenden Glasscheiben für Fenster; als auch zur großflächigen Beschichtung von metallischen Bändern mit lichtabsorbierenden Schichten zur Herstellung von Solarabsorbern werden Magnetron-Sputterquellen eingesetzt. Damit gelingt es in erforderlichem Umfang in den Eigenschaften homogene und in der Schichtdicke gleichmäßige Schichten auch auf großen Flächen abzuscheiden.

Bei bekannten Verfahren zum Beschichten von Substraten mit Hilfe der Sputtertechnik und Materialien, die isolierende Schichten bilden, besteht das Problem, daß neben dem Substrat auch Teile der Einrichtung selbst mit diesem elektrisch nicht, oder schlecht leitenden Materialien beschichtet werden, wodurch der Prozeß instabil wird und elektrische Überschlüge auftreten.

Weiterhin ist die aus ökonomischer Sicht wünschenswerte Erhöhung der Produktivität derartiger Beschichtungsanlagen durch die dann erforderliche hohe Beschichtungsgeschwindigkeit des einzelnen Magnetrons begrenzt. Der übliche Ausweg ist die Erhöhung der Anzahl der zur Abscheidung einer einzelnen Schicht eingesetzten Magnetrons, bzw. eine Erhöhung der pro Magnetron umgesetzten elektrischen Leistung. Beiden Maßnahmen sind in der Praxis relativ enge Grenzen gesetzt.

So ist die Magnetronanzahl durch geometrische Größen festgelegt und die maximal anwendbare Leistung pro Target-Oberflächeneinheit durch Werkstoffkenngrößen und die Kühlmöglichkeiten des Targets. Die gewünschte Produktivitätserhöhung der Anlage ist somit nur erreichbar, wenn es gelingt, die spezifischen Eigenschaften der Einzelschichten, die jeweils an eine bestimmte Schichtdicke gebunden sind, auch bei geringeren Schichtdicken zu erreichen.

Das ist oftmals dann möglich, wenn die Schichten in ihrer Struktur und ihrer Dichte den Werten des jeweiligen kompakten Materials angeglichen werden. Ein Weg dazu ist die Schichtabscheidung mit Unterstützung eines dichten Plasmas in Substratnähe.

Die positiven Effekte des Plasmas, wie z. B. die Erhöhung des Brechungsindex von 2,35 auf 2,55 bei den sehr häufig in der optischen Beschichtung eingesetzten  $\text{TiO}_2$ -Schichten wurden bereits beschrieben (Zöllner: Plasmaunterstütztes Aufdampfverfahren eröffnet neue Perspektiven in der Brillen- und Feinoptik, Vakuum in Forschung und Praxis 1997, Nr. 1, 19-24).

Die Ursache dafür ist eine Änderung der Gitterstruktur von Anatase zu Rutil auch bei niedriger Beschichtungstemperatur. Analog konnte gezeigt werden, daß bei  $\text{SiO}_2$  der Brechungsindex von 1,48 auf 1,46 infolge einer dichteren Struktur sinkt (Szyzbowski, Bräuer, Teschner, Zmely: Large Scale Antireflecting Coatings, PSE '96).

Es wurde weiterhin festgestellt, daß die Erhöhung der Schichtdicke zur erhöhten elektrischen Leitfähigkeit, z. B. bei Silberschichten führt. Da mit dem Schichtwiderstand aber auch die Emissivität metallischer Schichten ansteigt, gelingt es mit dünneren Silberschichten gleiche Reflexionseigenschaften zu erreichen und gleichzeitig die optische

Transmission zu verbessern.

Oftmals ist die Magnetron-Entladung nicht primär zur Abstäubung von Targetmaterial eingesetzt, sondern dient als Plasmaquelle. Das ist jeweils dann der Fall, wenn eine nahezu vollständige Bedeckung des Targets mit Reaktionsprodukten erzwungen wird.

Üblicherweise ist die Sputterrate der Reaktionsprodukte geringer als die des entsprechenden Targetmaterials. Mit wachsendem Reaktivgasanteil sinkt die Sputterrate des Targetmaterials und die in das Magnetron eingespeiste Leistung wird zunehmend im Plasma umgesetzt. In diesem Falle der magnetronunterstützten Plasma-CVD ist eine wesentliche, die Abscheidungsgeschwindigkeit bestimmende Größe die Plasmadichte in unmittelbarer Substratnähe. Damit verbunden ist die Dichte der Radikale und weiterer energiereicher Spezies, die für die Schichtabscheidung verantwortlich sind.

In beiden Fällen, sowohl beim üblichen reaktiven Sputterprozeß wie auch bei magnetronunterstützter Plasma-CVD, führt eine Steigerung der Plasmadichte in unmittelbarer Substratnähe zu einer Erhöhung der Beschichtungsproduktivität infolge verbesserter Schichteigenschaften, bzw. einer höheren spezifischen Schichtabscheidungsrate.

Es existieren eine Vielzahl von Methoden, die Plasmadichte auch bei größeren Abständen vom Target zum Substrat zu erhöhen. Eine Gruppe von Methoden benutzt zusätzliche Plasmaquellen, neben dem Magnetron selbst (Hohlkatodenunterstützte Sputtertechnik, Glühkatodenunterstützte Sputtertechnik, zusätzliche Mikrowellenentladung). Alle diese Methoden besitzen den prinzipiellen Nachteil des hohen apparativen Aufwandes und der damit verbundenen niedrigen Zuverlässigkeit der Einrichtung und Langzeistabilität der Prozesse.

Eine weitere Methode besteht darin, mit Gleichspannung betriebene Magnetrons magnetisch unbalanciert aufzubauen (Window, Surf. Coat. Technol. 71 81995) 93, DE 40 17 112).

Dadurch wird eine erhebliche Steigerung der Plasmadichte auch bei Abständen von einigen 10 cm vom Target erreicht, ohne daß ein nennenswerter zusätzlicher apparativer Aufwand erforderlich ist. Nachteilig hierbei ist allerdings, daß bei der reaktiven Abscheidung isolierender Schichten die zur Aufrechterhaltung der Entladung erforderlichen Elektroden (Anode) im Laufe des Abscheidungsprozesses gleichfalls isoliert, die Entladung dadurch instabil wird und schließlich verlischt. Aus diesem Grunde wird diese Methode bisher auch im wesentlichen bei der Abscheidung von Metallschichten, bzw. metallisch leitfähiger Verbindungsschichten eingesetzt (D. G. Teer, Surf. Coat. Technol. 39 (1989) 565; W. D. Münz, D. Schulze, F. J. M. Hauzer, Surf. Coat. Technol. 50 (1992) 169).

Eine Möglichkeit, den Nachteil der instabilen Anodenprozesse, die beim reaktiven Sputtern mit dem gleichspannungsbetriebenen Magnetron auftreten, zu vermeiden und langzeitstabil, ohne häufige elektrische Überschlüge und dadurch bedingte Prozeßstörungen die Abscheidung auch von dielektrischen Oxidschichten zu realisieren, ist sowohl in der DD 252 205, wie auch in EP 0 502 242 beschrieben. Diese Anordnung besteht aus zwei parallel zueinander und im wesentlichen auf einer Ebene liegenden Magnetrons, dem Doppelmagnetron, bzw. Twin-Magnetron. Die beiden Einzelmagnetrons sind mit dem Ausgangstransformator einer Stromversorgungseinheit verbunden, die mit Frequenzen im Bereich zwischen 20 . . . 100 kHz eine ihr Vorzeichen wechselnde Spannung liefert.

Dadurch wird erreicht, daß jeweils ein Magnetron während einer Spannungspolarität die Anode des Zweiten darstellt; nach Umpolung aber selbst sputtert und dadurch eine reine Targetoberfläche nach einer weiteren Umpolung als

Anode zur Verfügung steht.

Bei entsprechender Wahl der Frequenz wird erreicht, daß die Ausbildung der Isolierschicht auf dem jeweiligen Target langsamer verläuft, als die Umpolung stattfindet und dadurch ein stabiler Anodenprozeß zur Verfügung steht.

Im Frequenzbereich bis zu ca. 1 MHz können die Ionen des Entladungsplasmas dem wechselnden elektrischen Feld noch folgen. Es kommt dadurch zu einer geringfügigen Erhöhung der Plasmadichte, bzw. einer Ausdehnung des Bereiches des dichten Plasmas vom Target weg und zu verbesserten Haftungsbedingungen der Schichten auf den Substraten.

Der entscheidende Vorteil derartiger Einrichtungen ist die Langzeitstabilität der Prozesse bei der reaktiven Zerstäubung zur Abscheidung isolierender Schichten. Die erforderliche deutliche Erhöhung der Plasmadichte an entfernten Substraten, und damit die deutliche Einwirkung auf die Eigenschaften der sich bildenden Schicht, sowie die Dichteerhöhung der Radikale und energetischen Spezies in Substratnähe bei magnetrongestützten-CVD Prozessen wird nur unvollkommen erreicht.

Aufgabe der Erfindung ist es eine Doppelmagnetron-Sputtereinrichtung anzugeben, die ohne hohen technischen Aufwand eine hohe Plasmadichte in Substratnähe, insbesondere bei reaktiven Sputterprozessen, bei denen die entstehende Schicht selbst isolierend oder schlecht leitend ist, erzeugt und die gleichzeitig über lange Zeiten stabil arbeitet.

Die Aufgabe wird bei einer mit Mittelfrequenzspannung gespeisten Doppelmagnetron-Sputtereinrichtung der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß bei jedem der das Doppelmagnetron bildenden Einzelmagnetrons die jeweils in der Ebene des Targets gemessene magnetische Feldstärke des inneren Magnetpols niedriger ist, als die des äußeren Magnetpols.

Damit läßt sich mit geringem Aufwand eine hohe Plasmadichte in Substratnähe bei großer Langzeitstabilität erreichen.

Die unterschiedliche Feldstärke der Magnetpole läßt in Fortführung der Erfindung dadurch erreichen, daß der äußere Magnetpol im wesentlichen aus hartmagnetischen Material, der innere Magnetpol im wesentlichen aus Material mit einer hohen Permeabilität und in gleicher Weise wie die Rückplatte zusammengesetzt ist.

Als hartmagnetisches Material wird bevorzugt SmCo, oder NdFeB und als Material mit der hohen Permeabilität wird bevorzugt St 37 verwendet, so daß eine besonders kostengünstige Realisierung der Erfindung möglich ist.

Zur Verhinderung von parasitären Entladungen außerhalb der äußeren Magnetpole sind neben diesen angeordnete Bleche aus Aluminium vorgesehen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

In der zugehörigen Zeichnungsfigur ist schematisch der Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Einrichtung dargestellt. Auf einer Trägerplatte aus Edelstahl 1 sind auf isolierenden Zwischenstücken 4 zwei gleichartig gestaltete Einrichtungen, bestehend aus jeweils äußeren Magnetpolen 2, inneren Magnetpolen 3, montiert auf Rückplatten 6 und Targetplatten 5, aufgebaut.

Das Target selbst besteht aus Chrom. Die äußeren Magnetpole 2 sind aus jeweils einer Schicht quaderförmiger Permanentmagnete aus NdFeB mit einem Querschnitt von  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  und einem darüberliegenden Polschuh aus St 37 mit einem Querschnitt von  $10 \times 5 \text{ mm}^2$  aufgebaut.

Die inneren Magnetpole 3 bestehen hingegen ausschließlich aus einem Stück quaderförmigen Stahl St 37 mit einem Querschnitt von  $10 \times 15 \text{ mm}^2$ .

Die äußeren Magnetpole 2 sind dabei derart angeordnet, daß jeweils um den inneren Magnetpol 3 ein tunnelförmiger, geschlossener Magnetfeldring erzeugt wird. Im Beispiel ist der Nordpol der Magnete der äußeren Magnetpole 2 auf der dem darüberliegenden Target 5 zugewandten Seite angeordnet.

Zur Verhinderung von parasitären Entladungen außerhalb der äußeren Magnetpole 2 sind Bleche aus Aluminium 7 mit einer Dicke von ca. 3 mm vorgesehen.

Zwischen den beiden Einzelmagnetrons, zur magnetischen Abschirmung gegeneinander, wird ein weiterer quaderförmiger Stab aus permeablen Material 8 eingesetzt.

Die beiden Einzelmagnetrons werden nunmehr mit einer nichtdargestellten Mittelfrequenz-Stromversorgung verbunden. Nach Erzeugung der üblicherweise erforderlichen Umgebungsbedingungen für den Betrieb einer Magnetron-Sputterquelle, Erzeugung eines niedrigen Gasdruckes in einer die Quelle umgebenden abgeschlossenen Kammer, Einlaß eines prozeßtypischen Gasgemisches, wird die Entladung gezündet und dadurch der Sputtervorgang eingeleitet.

Bei einem typischen Gasdruck von ca.  $5 \cdot 10^{-2}$  mbar in einem Ar/CH<sub>4</sub>-Gasgemisch werden auf ein Substrat 9, das im Abstand von 100 mm vor dem Target angeordnet ist, und elektrisch auf einem negativen DC-Potential von ca. -150 V liegt, Me:C-H Schichten durch einen magnetronunterstützten Plasma-CVD Prozeß abgeschieden. Auch bei einem erforderlichen geringen Metallanteil in der Schicht von 15 at.% Cr, gelingt es, den Prozeß langzeitstabil über mehrere Stunden mit konstanter Stöchiometrie der Schicht, ohne störende Veränderungen der Targetbedeckung und damit verbundenen Instabilitäten und arc-Entladungen bei einer hohen Schichtabscheidungsrate zu führen.

Gleichzeitig ist eine Ionenstromdichte am Substrat von 2 mA/cm<sup>2</sup> einstellbar, die zur Ausbildung einer harten und kompakten Schicht führt.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Trägerplatte
- 2 äußerer Magnetpol
- 3 innerer Magnetpol
- 4 Zwischenstück
- 5 Targetplatte
- 6 Rückplatte
- 7 Blech
- 8 quaderförmiger Stab
- 9 Substrat

#### Patentansprüche

1. Mit Mittelfrequenzspannung gespeiste Doppelmagnetron-Sputtereinrichtung, bestehend aus zwei im wesentlichen in einer Ebene parallel nebeneinander liegenden Einzelmagnetrons mit gleicher Magnetfeldrichtung, jeweils umfassend einen inneren Magnetpol 3, einen äußeren Magnetpol 2 mit einer Polarität, die derjenigen des inneren Magnetpols 3 entgegengesetzt ist und der so angeordnet und gestaltet ist, daß er den inneren Magnetpol 3 umschließt, ein Target 5, welches zumindest oberhalb des inneren Magnetpols 3 angeordnet ist und sich von dort aus in der Ebene und in Richtung des äußeren Magnetpols 2 erstreckt, beide Magnetpole 2,3 fixiert auf einer Rückplatte 6 aus permeablen Material, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei jedem der das Doppelmagnetron bildende Einzelmagnetrons die, jeweils in der Ebene des Targets gemessene magnetische Feldstärke des inneren Magnetpols 3 niedriger ist als die des äußeren Magnetpols 2.

2. Mit Mittelfrequenzspannung gespeiste Doppelma-  
gnetron-Sputtereinrichtung nach Anspruch 1 dadurch  
gekennzeichnet, daß der äußere Magnetpol 2 im we-  
sentlichen aus hartmagnetischen Material, der innere  
Magnetpol 3 im wesentlichen aus Material mit einer  
hohen Permeabilität und in gleicher Weise wie die  
Rückplatte 6 zusammengesetzt ist. 5

3. Mit Mittelfrequenzspannung gespeiste Doppelma-  
gnetron-Sputtereinrichtung nach Anspruch 1 und 2 da-  
durch gekennzeichnet, daß das hartmagnetische Mate-  
rial SmCo, oder NdFeB ist und das Material mit der ho-  
hen Permeabilität St 37 ist. 10

4. Mit Mittelfrequenzspannung gespeiste Doppelma-  
gnetron-Sputtereinrichtung nach einem der Ansprüche  
1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß außerhalb der äu-  
ßeren Magnetpole 2 neben diesen Bleche 7 aus Alumi-  
nium angeordnet sind. 15

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

